

# LEISTUNGSBASIERTE NETZZUSTANDSERMITTLUNG: EIN ALTERNATIVER ANSATZ AUS VITREOUSGRID

**Wendelin ANGERMANN<sup>\*1</sup>, Robert SCHÜRHUBER<sup>1</sup>, Robert SCHMARANZ<sup>2</sup>, Martin RUHHÜTL<sup>2</sup>, Andreas ABART<sup>3</sup>, Thomas WIELAND<sup>3</sup>, David GRUBINGER<sup>4</sup>, Maria AIGNER<sup>5</sup>, Gregor TALJAN<sup>5</sup>, Roland BERGMAYER<sup>5</sup>, Christian AMMER<sup>6</sup>, Thomas SCHUSTER<sup>7</sup>, Elisabeth HUFNAGL<sup>7</sup>**

## Inhalt

Mit dem wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Erzeugung und dynamischeren Lastprofilen steigt die Notwendigkeit, einen genaueren Überblick über den aktuellen Netzzustand zu erhalten, um verfügbare Ressourcen effizient zu nutzen und potenzielle Engpässe frühzeitig zu erkennen. Das Forschungsprojekt VITREOUSGRID untersucht daher praxistaugliche Verfahren zur Netzzustandsermittlung in österreichischen Mittel- und Niederspannungsnetzen. Die zentrale Herausforderung ergibt sich aus der geringen Messwertdurchdringung in diesen Netzebenen, die eine direkte Anwendung klassischer Zustandsschätzungsmethoden erschwert. Während in höheren Spannungsebenen üblicherweise genügend Messwerte vorhanden sind, um den Netzzustand über eine herkömmliche Netzzustandsschätzung zu bestimmen, müssen in der Mittelspannungsebene ergänzend Pseudomesswerte herangezogen werden [1]. Im Projekt arbeitet die TU Graz und sechs österreichische Netzbetreiber gemeinsam daran, robuste und betrieblich einsetzbare Verfahren zu untersuchen, welche auf die real verfügbare Datenlage eingeht und gleichzeitig eine physikalisch konsistente Bestimmung des Netzzustands ermöglichen.

## Methodik

In der Literatur finden sich grundsätzlich zwei methodische Richtungen: analytische Verfahren, bei denen Messgrößen explizit als Funktion der Zustandsgrößen formuliert und anschließend über Regressionsverfahren – häufig mittels Weighted-Least-Squares (WLS) – ausgewertet werden, sowie datengetriebene Ansätze, die auf vorab generierten Referenz- oder Trainingsdaten basieren [1]-[3]. Beide Methoden zeigen spezifische Stärken, etwa die flexible Einbindung unterschiedlicher Messgrößen im WLS-Ansatz oder die reduzierte Modellierungsanforderungen datengetriebener Verfahren [4]. Im Projekt VITREOUSGRID wurde ein hybrider Ansatz (lineare Zustandsschätzung und nichtlineare Lastflussberechnung) analysiert, der die Vorteile analytischer Modelle nutzt und zugleich eine hohe Robustheit sicherstellt. Das Verfahren arbeitet mit Wirkleistungs- und Blindleistungsgrößen an allen Knoten sowie zusätzlichen Leistungsflussmessungen an ausgewählten Leitungen. Für die simulationsbasierte Evaluierung wurden 40 % der Knoten und 10 % der Leitungen als gemessen angenommen; alle übrigen Knotenleistungen wurden mittels Pseudomesswerten mit einer hohen Unsicherheit (Standardabweichung 100 %) ergänzt [5]. Die Zustandsermittlung erfolgt durch die Formulierung von Leistungsbilanzen in einem linearen gewichteten Least-Squares-Verfahren, das iterativ durch eine Lastflussberechnung ergänzt wird. Dadurch werden Wirk- und Blindleistungsverluste in jedem Iterationsschritt aktualisiert, was zu einer Schätzung des Netzzustands führt.

## Ergebnisse

Zur Bewertung des hybriden Verfahrens wurde ein reales Mittelspannungsnetz mit etwa 800 Knoten untersucht. Das dargestellte Szenario zeigt, dass die Schätzgenauigkeit des hybriden Ansatzes mit jener eines klassischen WLS-Verfahrens vergleichbar ist. Gleichzeitig weisen die Simulationen darauf

---

<sup>1</sup> TU Graz Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Inffeldgasse 18/I 8010 Graz, +43 316 873 – 8054, wendelin.angermann@tugraz.at, www.tugraz.at/institute/iean/home

<sup>2</sup> Kärnten Netz GmbH, Arnulfplatz 2 9020 Klagenfurt am Wörthersee, +43 505 25-6000

<sup>3</sup> Netz Oberösterreich GmbH, Energiestraße 1 4020 Linz, +43 5 9070

<sup>4</sup> Salzburg Netz GmbH, Bayerhamerstraße 16 5020 Salzburg, +43/662/ 8882 - 0

<sup>5</sup> Energienetze Steiermark GmbH, Leonhardgürtel 10 8010 Graz, +43 (0)316/90555-0

<sup>6</sup> Tiroler Netze GmbH, Bert-Köllensperger-Straße 7 6065 Thaur, +43 (0)50708 190

<sup>7</sup> Wiener Netze GmbH, Erdbergstraße 236 1110 Wien, +43 (0)50 128 - 10100

hin, dass der hybride Ansatz im Allgemeinen stabilere Konvergenzeigenschaften besitzt. Während es beim WLS-Algorithmus (AC-Lastflussgleichungen) aufgrund der inhärenten Nichtlinearitäten zu Konvergenzprobleme kommen kann, vermeidet das hybride Verfahren derartige Schwierigkeiten durch seine lineare Grundstruktur. Die gezeigten Ergebnisse unterstreichen das Potenzial des Verfahrens für eine robuste und verlässliche Netzzustandsermittlung unter realistischen Messwertbedingungen.

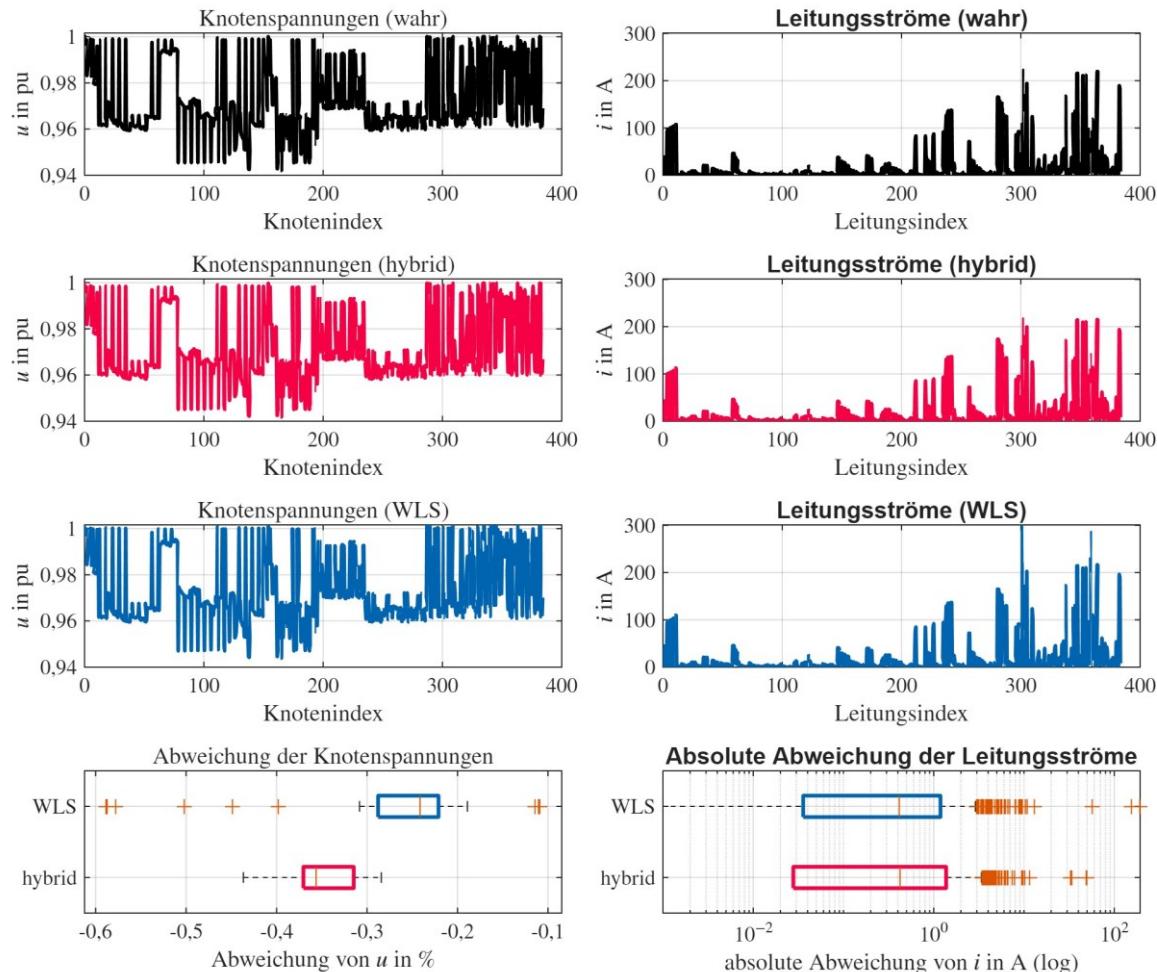


Abbildung 1 Vergleich der geschätzten Knotenspannungen und Leitungsströme. Die wahren Messwerte wurden mittels einer AC-Lastflussberechnung bestimmt.

## Referenzen

- [1] VDE. FNN, Standardisiertes Vorgehen für die Durchführung der Netzzustandsermittlung auf Basis von Echtzeit-Messwerten in der Niederspannung zur Einhaltung von Mindestanforderungen an deren Sensitivität und Spezifität: Bundeseinheitliche Empfehlung.
- [2] M. Fotopoulou, S. Petridis, I. Karachalios und D. Rakopoulos, "A Review on Distribution System State Estimation Algorithms," Applied Sciences, Jg. 12, Nr. 21, S. 11073, 2022, doi: 10.3390/app122111073.
- [3] S. Reisenbauer, B. V. Rao und G. Taljan, "Machine-learnt state estimation for optimization in lowvoltage distribution grids," IET Conf. Proc., Jg. 2023, Nr. 6, S. 1508–1512, 2023, doi: 10.1049/icp.2023.0919.
- [4] S. Radhoush, "data-driven approaches for distribution grid modernization: exploring state estimation, pseudo-measurement generation and false data detection," Montana State University.
- [5] S. Storch, D. Fendt, M. Finkel, M. Uhrig, M. Kreißl und L. Behringer, "Improving distribution system state estimation: novel metadata driven approach for pseudo measurement generation," in CIRED 2024 Vienna Workshop, Bd. 2024, 2024, S. 259–264, doi: 10.1049/icp.2024.1968.